

1. 阪大カスプ実験

石 村 勉*

熱核融合反応の基礎実験として超高温プラズマの発生、保持、加熱の研究が国内外を問わず盛んに行なわれている。この種の実験の一つとして磁気びん中にプラズマを入射する実験が近年あちこちで行なわれるようになった。磁気びん中にプラズマを閉じ込める実験に際し、プラズマを磁気びん中で発生させる方法を採用すると、プラズマ発生に必要な放電々流によって磁気びんがその形状を変化するという困難を生ずる。また、プラズマの周囲にはプラズマ化しなかった中性のガス分子が存在し、これとプラズマとの相互作用も避けたい。これらの困難はプラズマを磁気びんの外で作って、磁気びん中に入射する方法をとれば避けられる。この実験で問題となる点を以下に列挙しよう。

1) プラズマ発生部（通常プラズマ・ガンと呼ばれる）から射出されたプラズマがどのような性質を持っているか。すなわち、その温度、密度、速度などがプラズマ・ガンの動作条件によっていかに変化するか。

2) プラズマが磁気びんに入射する条件はどのようなものであるか。すなわち、飛来したプラズマの性質を表わす諸量と磁場の大きさとの関係によって、プラズマが入射したり、しなかったりする状況はどうであるか。また入射する際も、入口付近の磁場が完全に打ち消されているか否か。

3) 入射したプラズマが磁気びん中に捕捉される状況はどうか。その際、プラズマの並進運動エネルギーは熱運動エネルギーに変化するはずであるが果してそうになっているか。

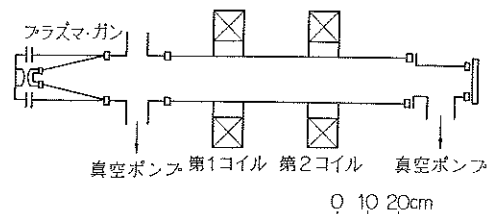
4) 磁気びん中に閉じ込められたプラズマは磁場の形状や強さに応じてどの程度の時間保持されるか。

以上の諸点が、実験によって解明されねばならない主要な問題点である。

阪大超高温グループはこれらの現象の解明を目標として実験を行なっている。実験装置の概要を Fig. 1 に示す。プラズマ・ガンは直線ピンチ型であり、放電管は長さ 20 cm. 内径最大 15 cm. 最小 8 cm. の円錐状パイレックス・ガラスであり、電極は銅製で一方は円板状、他方は円環状である。

この放電管に容量 8 μ F, 耐圧 50 kV のコ

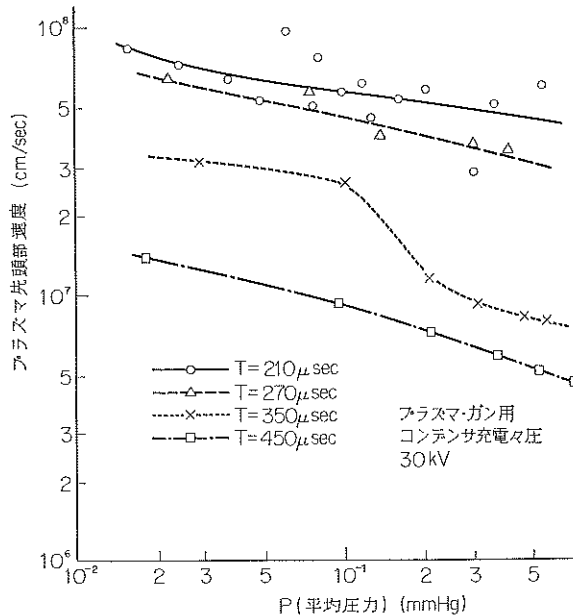
ンデンサの放電々流を流すと、放電管中にプラズマが発生し、円環状電極からプラズマが射



第1図 実験装置の概略

* 大阪大学工学部超高温

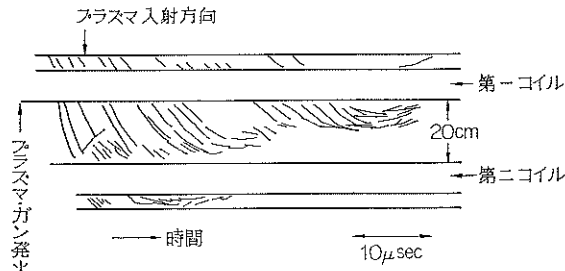
出される。コンデンサの充電々圧は通常 30 kV~40 kV として実験を行ない、最大放電々流値は約 400 kA に達している。初期の実験では放電管も含む真空容器に水素ガスを 10^{-1} mmHg 程度充填して放電を行なった。この実験では水素プラズマの速度は $3\sim 5 \times 10^6$ cm/sec 程度で、放電ガスに少量のアルゴン・ガスを混ぜるとその速度は著しく減少した。その後の実験では円板状電極に高速電磁弁をとりつけて水素・ガスを噴出させ、ガスが略放電管を満した時期にコンデンサを放電させてプラズマを作った。このようにするとプラズマは真空中を飛行するので、プラズマが相当距離飛行してもその速度はあまり減少しない。高速ストリーク・カメラで撮影した写真から水素プラズマの先頭部の速度を求めた結果を Fig. 2 に示



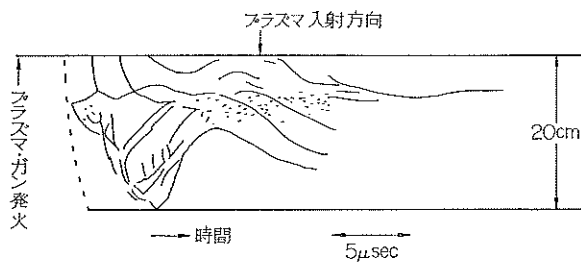
第2図 プラズマ・ガンより射出されるプラズマ先頭部の速度

す。P は平均の放電管内ガス圧力で、T は電磁弁動作開始からコンデンサ放電開始までの時間である。プラズマの速度は条件によって 5×10^6 cm/sec~ 10^8 cm/sec 間の種々の値をとる。また P が小、T が小となるとプラズマの速度は大となる。

このようにして発生したプラズマは内径 15 cm、長さ約 1 m の真空容器中を走るが、途中に磁気びんを設けてこのプラズマを捕捉する。磁気びんは Fig. 1 に示すように二つの磁場コイルによって作られる。第一コイルは 5 ターン、第二コイルは 10 ターンで、結線を変えることによりミラー磁場、カスプ磁場となる。磁場コイルにはコンデンサの放電々流を放電の第一 1/4 周期にクローバーして準直流電流とした電流を流す。電流の半減時間は約 2 msec である。カスプ磁場とした場合の第一コイルの磁場の最大値は 4 kG、第二コイルの磁場の最大値は 11 kG で、これは磁場用コンデンサの充電々圧が 20 kV のとき得られる。磁場の値は磁場用コンデンサの充電々圧に比例する。二つのコイル間隔の平均値を 30 cm (このと



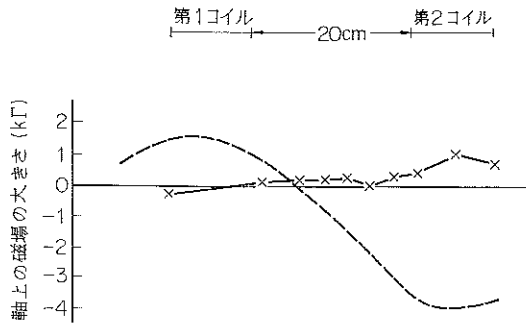
第3図 カusp磁場へのプラズマ投入状況を示す高速ストリーク写真 (磁場用コンデンサ充電電圧 8 kV の場合)



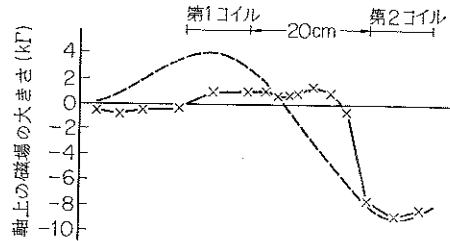
第4図 カusp磁場へのプラズマ投入状況を示す高速ストリーク写真 (磁場用コンデンサ充電電圧 12 kV の場合)

きコイル枠内側の間隔は 20 cm) としたとき、真空円筒容器の軸方向に撮影した高速ストリーク・カメラによる写真を模式的に Fig. 3, Fig. 4 に示す。これらの写真からプラズマは第一コイル前方で多少減速され一部は停滞することがわかる。第一コイルを通過したプラズマは速度を回復して磁場の零点を通過する。その後のプラズマの挙動は磁場の強さにより異なる。磁場の比較的弱いとき (磁場用コンデンサ充電電圧 8 kV 以下) には先頭部のプラズマは第二コイルの作る磁場を通過する。磁場用コンデンサ充電電圧が 10~14 kV の場合にはプラズマの主要部分は速度の急激な減少を行なった後、第二コイル前方で反射されカusp磁場中に捕捉される。さらに強い磁場ではプラズマの挙動はかなり複雑で十分な解析はなされていない。しかし、いずれの場合もカusp磁場中におけるプラズマの発光は約 100 μsec 程度続いている。

プラズマは電気的には導体であると考えられるから、磁場と相互作用を行なうはずである。もしプラズマが完全導体であるなら、プラズマ中の磁束は変化しない。したがって最初からプラズマ中に磁束がないならば、いつまでもプラズマ中に磁束は存在しない。そこで探針を用いてプラズマ中の磁場を測定してプラズマの挙動を推定することが可能となる。Fig. 5, Fig. 6 は真空円筒容器の軸方向に探針を入れ軸方向の磁場を測定した結果を示したものである。磁場の弱い場合はプラズマは第一コイル、第二コイルの作る磁場を完全に打ち消して通過する。磁場の強い場合は第二コイルの磁場は打ち消されない。これはプラズマが第二コイル前方で反射されるためと考えられる。カusp磁場中に閉じ込められたプラズマからは約 100 μsec 発光が認められるが、磁気探針の受ける信号は約 30 μsec で終る。これはプラズマ



第5図 軸上の磁場がプラズマによって打ち消される状況。実線はプラズマガン発火後9 μ secの磁場。破線はプラズマが存在しないときの磁場（磁場用コンデンサ充電電圧4kVの場合）



第6図 軸上の磁場がプラズマによって打ち消される状況。実線はプラズマ・ガン発火後9 μ secの磁場。破線はプラズマが存在しないときの磁場（磁場用コンデンサ充電電圧16kVの場合）

の電気伝導度が有限であるため、プラズマ中を流れている電流が減衰してプラズマ中に磁場が滲透したためと考えられる。

磁場コイルの結線を変えて第一、第二コイルに同方向の電流を流すといわゆるミラー磁場ができる。このような磁場にプラズマを投入すると、プラズマは磁場によって捕捉されずに通過してしまった。この結果は高速ストリーク・カメラによる撮影からわかった。同じ条件で磁気探針による測定を行なうと、通過するプラズマ中に磁場が滲透していることがわかった。これはミラー磁場では磁場の変化の割合に比し、プラズマ電流の減衰時定数が小であるためと考えられる。

以上阪大超高温グループで行なっている実験の概略を述べたが、プラズマ・ガンについての詳細は文献[1]、[2]、[3]を、磁気びん中への投入実験の詳細は文献[4]、[5]を参照されたい。

参 考 文 献

- [1] 平野：高速電磁弁の試作（I）。核融合研究，11，179（1963）。
- [2] 平野：高速電磁弁の試作（II）。核融合研究，12，98（1964）。
- [3] 平野：阪大ピンチ・ガンの特性。核融合研究，12，528（1964）。
- [4] 科野：流しカメラによるカスプ入射の研究。核融合研究，12，556（1964）。
- [5] 尾崎：阪大カスプ装置の磁気探針による観測。核融合研究，13，143（1964）。